

горячего гидролиза состоят из наноструктурированных частиц типа «бутон цветка», сформированных пластинчатыми первичными частицами толщиной 70–90 нм.

Методами рентгенофазового анализа и термogravиметрии показано, что оба образца являются гидратированными кобальтатами никеля с разной степенью гидратации, при наличии чистого кобальтата никеля.

Циклической вольтамперометрией и гальваностатическим зарядно-разрядным циклированием в режиме суперконденсатора показано, что в образце Ni–Co окси-гидроксида холодного гидролиза электрохимически активна только никелевая составляющая. Максимальная ёмкость образца холодного гидролиза составила 185,7 Ф/г (при 10 мА/см²). С повышением плотности тока

циклирования до 120 мА/см² удельная ёмкость образца падает в 4,47 раза. Для образца горячего гидролиза выявлена активность как никелевой, так и кобальтовой составляющей: при росте плотности тока циклирования с 10 мА/см² до 120 мА/см² удельная ёмкость возрастает в 1,25 раза до 192,5 Ф/г. Для образца горячего гидролиза показана очень высокая обратимость и высокая эффективность с первого цикла работы.

Таким образом, можно сделать вывод, что образец гидратированного кобальтата никеля, полученный высокотемпературным двухступенчатым синтезом при использовании горячего гидролиза, является перспективным активным материалом фарадеевского электрода гибридного суперконденсатора.

Список литературы

1. *Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties* / Hall D.S., Lockwood D.J., Bock C., MacDougall B.R. // *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2014. – V.471. – Iss.2174. – P.20140792–20140792.
2. Vidotti M., Torresi R., Torresi S.I.C. de. *Nickel hydroxide modified electrodes: a review study concerning its structural and electrochemical properties aiming the application in electrocatalysis, electrochromism and secondary batteries* // *Química Nova*, 2010. – V.33. – Iss.10. – P.2176–2186.
3. Chen J. *Nickel Hydroxide as an Active Material for the Positive Electrode in Rechargeable Alkaline Batteries* // *Journal of The Electrochemical Society*, 1999. – V.146. – Iss.10. – P.3606.
4. *The structure and electrochemical performance of spherical Al-substituted α -Ni(OH)₂ for alkaline rechargeable batteries* / Chen H., Wang J.M., Pan T., Zhao Y.L. et. al. // *J. Power Sources*, 2005. – Iss.143. – P.243–255.
5. *Stabilized α -Ni(OH)₂ as electrode material for alkaline secondary cells* / Kamath P.V., Dixit M., Indira L., Shukla A.K. et. al. // *Electrochem. Soc.*, 1994. – Iss.141. – P.2956–2959.
6. *Cobalt-Free Nickel Rich Layered Oxide Cathodes for Lithium-Ion Batteries* / Sun Y.-K., Lee D.-J., Lee Y. J., Chen Z. et. al. // *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2013. – V.5. – Iss.21. – P.11434–11440.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ГНОЙНЫХ РАН

Т.С. Твердохлебова¹, Л.С. Мамонтова²
Научный руководитель – к.т.н., н.с. Е.Н. Больбасов

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, aramat_tts@mail.ru

²Сибирский государственный медицинский университет
634050, Россия, г. Томск, Московский тракт 2 стр.18, ant_sv@mail.ru

Введение. Гнойная рана является источником серьезной опасности для человеческого организма на локальном и системном уровне, поэтому современное медицинское материаловедение уделяет огромное внимание разработке

эффективных материалов для лечения гнойных ран. Известно, что пьезоэлектрические мембраны, изготовленные из фторсодержащих полимеров (ФПМ), под воздействием внешних механических стимулов способны проявляют

Таблица 1. Механические свойства мембран

Сод. РЕР, %	Средний диаметр, мкм	Вязкость, Мпа·с	Прочность, МПа	Относительное удл., %
0	1,33±0,48	323±25	1,1±0,4	245±11
5	1,36±0,54	276±16	1,8±0,2	145±5
15	0,97±0,38	200±4	1,6±0,3	146±11
25	0,78±0,29	112±2	1,1±0,2	136±17
50	0,73±0,24	32±2	0,6±0,1	98±10



Рис. 1. А – структура мембран, изображение раны через 7 суток Б – стандартная повязка, В – композитная мембрана

антибактериальные свойства и усиливать миграцию, адгезию, уровень секреции цитокинов фибробластов, что делает их перспективными материалами для лечения гнойных ран.

Методика эксперимента. Изготовление ФПМ осуществляли методом электроформования (NANON 01A MECC Co., Япония). Исследование структуры мембран проводили методом сканирующей электронной микроскопии (Vega 3, Чехия). Прочность исследовали методом одноосного растяжения (Instron 3343, США). Изучение способности восстанавливать дефект кожного покрова вызванного гнойной раной изучали на белых лабораторных крысах линии Вистар.

Результаты и их обсуждение. Типичное изображение ФПМ представлено на рисунке 1А. Результаты исследований физико-механических свойств ФПМ представлены в таблице 1. Установлено, что вне зависимости от содержания РЕР все ФПМ сформированы хаотично переплетающимися волокнами, имеют взаимосвязанную пористость. С увеличением содержания РЕР уменьшается диаметр волокон, формирующих ФПМ, что обусловлено снижением вязкости прядильных растворов (табл. 1). Наблюдается уменьшение относительного удлинения, при этом прочность увеличивается до концентрации РЕР 25%, а затем падает, что обусловлено ме-

жмолекулярными взаимодействиями полимеров, образующих мембрану.

При использовании для заживления раны стандартной повязки, пропитанной хлоргексидином наблюдалась рана диаметром до 2,2 см, края раны неровные, процессы грануляции и эпителизации раны выражены слабо, на дне раны наблюдался налет серо-желтого цвета, образованный гнойными массами, легко отделяющийся от поверхности раны. При использовании в качестве повязки ФПМ с содержанием РЕР 25 масс % размер раны составлял 1,2–1,4 см, на дне раны гнойных масс не обнаруживалось, края раны были ровными по краям наблюдался интенсивный процесс эпителизации и грануляции что свидетельствует об активном течение регенеративного процесса. Проведенные нами исследования показали возможность формирования ФПМ методом электроформования из растворов термодинамически несовместимых полимеров.

В эксперименте на лабораторных животных показана перспективность использования композиционных фторполимерных пьезоэлектрических мембран для лечения гнойных ран

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-03-00171.